

PUB-NO: FR002885736A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: FR 2885736 A1

TITLE: TITLE DATA NOT AVAILABLE

PUBN-DATE: November 17, 2006

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
CORTAMBERT, JEAN MARC	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
CORTAMBERT JEAN MARC	FR

APPL-NO: FR00504894

APPL-DATE: May 16, 2005

PRIORITY-DATA: FR00504894A (May 16, 2005)

EUR-CL (EPC): H01Q001/28 ; H01Q021/24

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 885 736

②1 N° d'enregistrement national : 05 04894

⑤1 Int Cl⁸ : H 01 Q 21/24 (2006.01), H 01 Q 1/28, G 01 S 13/93

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 16.05.05.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 17.11.06 Bulletin 06/46.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : CORTAMBERT JEAN MARC — FR.

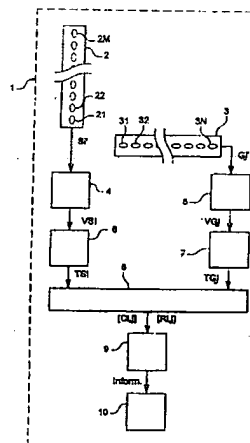
⑦2 Inventeur(s) : CORTAMBERT JEAN MARC.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : NOVAGRAAF TECHNOLOGIES.

⑤4 ANTENNE CRUCIFORME A SOUS-ANTENNES LINEAIRES ET TRAITEMENT ASSOCIE POUR RADAR
AEROPORTE.

⑤7 L'invention propose une antenne (1) comprenant:
-une première (2) et une deuxième (3) sous-antennes li-
néaires munies de capteurs (21-2M, 31-3N) formant des
première et deuxième portions de lignes et générant un si-
gnal de base (Si', Gj'), l'angle entre des vecteurs directeurs
des première et deuxième tangentes au milieu des première
et deuxième portions de ligne étant compris entre 30° et
150°;
-un dispositif d'émission d'un signal électromagnétique
à une fréquence au moins égale à 10 GHz;
-un dispositif de traitement d'antenne (4, 5) formant des
signaux combinés (VSi, VGj);
-un dispositif de traitement (6,7) de signal générant des
signaux combinés utiles (TSi, TGj);
-un dispositif de calcul (8) des coefficients de corrélation
([Cij]) entre les signaux combinés utiles;
-un dispositif (8) générant un signal de détection ([Rij])
lorsqu'un coefficient de corrélation dépasse un seuil.



FR 2 885 736 - A1



ANTENNE CRUCIFORME A SOUS-ANTENNES LINEAIRES ET
TRAITEMENT ASSOCIE POUR RADAR AEROPORTE

L'invention porte de façon générale sur les antennes, et en particulier sur la structure de l'antenne et l'architecture du traitement des données issues des capteurs de telles antennes lorsqu'elles sont employées
5 en réception et en émission.

Il est connu dans le domaine du radar d'utiliser des antennes surfaciques à formation de faisceaux par le calcul, destinées à détecter, localiser et classifier des cibles ou des sources. Une telle antenne est généralement
10 constituée d'une matrice comprenant jusqu'à plusieurs milliers de capteurs disposés pour former une surface plane rectangulaire. Ces capteurs ont généralement un diagramme de directivité identique. Ce diagramme de directivité élémentaire n'a pas la résolution suffisante
15 pour les performances requises de l'antenne en localisation. Un dispositif de génération de faisceaux réalise une combinaison (par exemple une combinaison linéaire) des signaux générés par les capteurs afin de former les directivités requises en site et en gisement.

20 Par exemple, un radar aéroporté sur un hélicoptère a besoin de performances en détection et en localisation qui ne sont pas remplies de manière satisfaisante aujourd'hui, pour détecter certaines cibles comme les câbles à haute tension, les pylônes, ou tout obstacle de
25 petite dimension. Il faudrait pour cela, dans l'état actuel de l'art, augmenter les dimensions d'une telle antenne, ce qui n'est pas aujourd'hui concevable pour

différentes raisons dont l'encombrement, le poids, et le coût de telles antennes incluant les dispositifs d'acquisition et de traitement des données provenant des capteurs.

5 Une telle antenne présente donc des inconvénients pour un radar aéroporté. Pour une précision donnée de la localisation en site et en gisement, par exemple d'un pylône ou d'un câble à haute tension, cette antenne est très coûteuse et difficilement intégrable sur un aéronef.

10 Il existe donc un besoin pour une antenne résolvant un ou plusieurs de ces inconvénients. L'invention a ainsi pour objet une antenne comprenant :

-une première et une deuxième sous-antennes linéaires :

15 -présentant chacune une pluralité de capteurs électromagnétiques agencés pour former respectivement des première et deuxième portions de lignes, chaque capteur générant un signal de base;

20 -l'angle entre des vecteurs directeurs respectifs des première et deuxième tangentes au milieu respectivement des première et deuxième portions de ligne étant compris entre 30° et 150° ;

-un dispositif d'émission d'un signal électromagnétique à une fréquence au moins égale à 10 GHz ;

25 -un dispositif de traitement d'antenne formant plusieurs signaux combinés pour chaque portion de ligne, ce signal étant une combinaison des signaux de base des capteurs de cette portion de ligne;

30 -un dispositif de traitement de signal générant des signaux combinés utiles en filtrant le bruit des signaux combinés provenant de chaque portion de ligne ;

-un dispositif de calcul des coefficients de corrélation entre les signaux combinés utiles de la première portion de ligne et les signaux combinés utiles de la deuxième portion de ligne ;

- 5 -un dispositif générant un signal de détection lorsqu'un coefficient de corrélation dépasse un seuil prédéterminé.

On peut prévoir que le dispositif d'émission émette plusieurs faisceaux électromagnétiques simultanément. On peut prévoir que le dispositif d'émission émette un
10 faisceau très large en site et en gisement

On peut prévoir que le dispositif de calcul des coefficients de corrélation effectue des calculs de corrélation entre des signaux combinés utiles de la première portion de ligne et des signaux combinés utiles
15 de la deuxième portion de ligne issu de signaux de base mesurés en simultané par les capteurs électromagnétiques.

Selon une variante, l'antenne comprend en outre un dispositif de détection de cible, comparant chaque coefficient de corrélation calculé à un seuil prédéfini
20 associé, détectant et localisant une cible lorsqu'un coefficient de corrélation dépasse le seuil associé. Selon encore une variante, l'antenne comprend un dispositif de traitement du signal de détection et des coefficients de corrélation générant des informations
25 concernant la cible détectée.

Selon encore une autre variante, l'information générée comprend la distance, le site, le gisement, la vitesse et une image de la cible. Selon une autre variante, l'antenne comprend un dispositif affichant les
30 informations générées.

On peut prévoir que le dispositif affiche l'image de la cible seulement si une autre information générée franchit un seuil prédéterminé.

Selon une variante, les capteurs sont émissifs; le
5 dispositif d'émission comprend un circuit d'excitation alimentant les capteurs des sous-antennes linéaires de sorte qu'ils émettent à une fréquence au moins égale à 10 GHz ; le dispositif de traitement de données traite les signaux combinés en fonction du signal émis par chaque
10 capteur, ce traitement comprenant par exemple une compression d'impulsion.

Selon encore une variante, les première et deuxième portions de ligne présentent une longueur comprise entre 30 et 150 cm et une largeur comprise entre 1 et 10 cm.

15 L'invention porte également sur un aéronef comprenant une antenne telle que décrite ci-dessus, les première et deuxième portions de ligne sont sensiblement droites et forment sensiblement un V dont la base est orientée vers le haut de l'aéronef. Selon une variante,
20 les vecteurs directeurs des première et deuxième portions de ligne présentent un angle compris entre 40 et 50° par rapport à la verticale de l'aéronef.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement à la lecture de la description
25 suivante qui est donnée à titre d'exemple non limitatif et en regard des figures. Ces figures montrent:

-Figure 1, une représentation schématique d'un exemple de structure d'antenne et d'architecture du traitement de données issues des capteurs de telles
30 antennes selon l'invention;

-Figures 2 et 3, des exemples de diagrammes de localisation dans différents cas.

Un capteur désignera par la suite un dispositif comprenant un ou plusieurs capteurs élémentaires. Un
5 capteur présentant plusieurs capteurs élémentaires génère un signal de base à partir des signaux des capteurs élémentaires de façon connue en soi.

Afin d'améliorer les performances d'un capteur, il est courant d'utiliser un module regroupant plusieurs
10 capteurs. Le terme capteur utilisé par la suite couvre également un module de capteurs, car un capteur et un module de capteurs sont fonctionnellement identiques pour le traitement d'antenne.

Le traitement d'antenne désignera un traitement de
15 signal des capteurs qui forme, par combinaison des signaux des capteurs, des signaux appelés voies ou faisceaux qui privilégient une direction de propagation dans l'espace de la grandeur physique. Les combinaisons de signaux mentionnées par la suite seront par exemple
20 des combinaisons linéaires de ces signaux.

Par fréquence d'émission, on entendra par la suite une fréquence d'émission pour laquelle la puissance d'émission est supérieure à 20 dB par rapport au bruit
25 ambiant.

L'invention propose une antenne comprenant au moins deux sous-antennes linéaires, chacune munie de capteurs électromagnétiques formant une portion de ligne. Les deux portions de ligne sont définies de la façon suivante: on
30 forme les tangentes au milieu de chaque portion de ligne. L'angle entre des vecteurs directeurs de ces tangentes

doit alors être compris entre 30° et 150° . Les orientations des portions de lignes sont ainsi suffisamment distinctes pour que l'antenne récupère des informations suffisantes suivant deux axes distincts

5 considérés comme orthogonaux. L'antenne comprend en outre un dispositif d'émission d'un signal électromagnétique à une fréquence au moins égale à 10 GHz. Chacune des sous-antennes linéaires présente un dispositif de traitement d'antenne qui génère un ou plusieurs signaux combinés.

10 Chacune des sous-antennes linéaires présente un dispositif de traitement de signal appliqué aux signaux combinés, qui fournit un ou plusieurs signaux combinés utiles. Ces signaux combinés utiles sont les résultats de traitement des signaux combinés, destinés à en extraire

15 le bruit, et sont générés avant le traitement de corrélation. L'antenne présente en outre un dispositif de calcul des coefficients de corrélation entre les signaux combinés utiles d'une sous-antenne linéaire avec les signaux combinés utiles de l'autre sous-antenne linéaire.

20 L'information en résolution est obtenue par le calcul plutôt que par l'augmentation du nombre des capteurs.

On peut prévoir que les capteurs des sous-antennes soient émissifs et excités par le dispositif d'émission.

25 On peut également prévoir des organes d'émission distincts des capteurs des sous-antennes.

On peut prévoir que les première et deuxième portions de lignes ont respectivement la direction de l'axe ou de la verticale de l'aéronef. On peut également

30 prévoir que les première et deuxième portions de lignes sont inclinées par rapport à la verticale de l'aéronef.

Par exemple les première et deuxième portions de lignes peuvent être inclinées d'un angle de 45° par rapport à la verticale, les deux sous-antennes formant un V. Cette configuration est intéressante si on veut minimiser les effets du fouillis sur la probabilité de fausse alarme du radar.

On va décrire un exemple simplifié d'antenne en référence à la figure 1. L'antenne 1 de la figure 1 comprend deux sous-antennes linéaires 2 et 3. Les sous-antennes linéaires 2 et 3 comprennent chacune plusieurs capteurs, respectivement 21 à 2M et 31 à 3N. Les capteurs 21 à 2M sont agencés pour sensiblement former une première portion de ligne. Les capteurs 31 à 3N sont agencés pour sensiblement former une deuxième portion de ligne.

Les première et deuxième portions de lignes de la figure 1 vérifient la condition d'orientation définie auparavant: ces portions de lignes sont en l'occurrence des segments de droite placés dans un même plan et orthogonaux. L'angle entre les vecteurs directeurs peut être dans une plage appropriée choisie par l'homme de métier. On peut notamment envisager que cet angle soit compris dans les plages suivantes : $[40^\circ; 140^\circ]$, $[50^\circ; 130^\circ]$, $[60^\circ; 120^\circ]$, $[70^\circ; 110^\circ]$, $[80^\circ; 100^\circ]$, $[85^\circ; 95^\circ]$, ou $[89^\circ; 91^\circ]$. Les capteurs 21 à 2M sont en l'occurrence utilisés pour la détermination du site d'une source ou d'une cible, tandis que les capteurs 31 à 3N sont utilisés pour déterminer son gisement.

Ces capteurs comprennent un ou plusieurs capteurs élémentaires non illustrés, du type adéquat. Un capteur

présentant plusieurs capteurs élémentaires génère un signal de base à partir des signaux des capteurs élémentaires de façon connue en soi. Chaque capteur génère donc un signal de base qui peut subir un traitement de signal particulier avant le traitement d'antenne. Les capteurs d'une portion de ligne peuvent présenter une directivité identique et être équirépartis sur cette portion de ligne. Les capteurs 21 à 2M génèrent respectivement les signaux de base S1 à SM illustrés par Si'. Les capteurs 31 à 3N génèrent respectivement les signaux de base G1 à GN illustrés par Gj'. Par la suite, l'indice i' désignera tous les signaux ou nombres associés à un capteur 2i'. Ainsi le signal S4 est associé au capteur 24. De façon similaire, l'indice j' désignera tous les signaux ou nombres associés à un capteur 3j'. Ainsi, le signal G2 est associé au capteur 32.

Un dispositif de traitement d'antenne 4 forme un signal combiné des capteurs d'une portion de ligne, de façon connue en soi. Le dispositif de traitement d'antenne 4 génère ainsi les signaux combinés VSi associés aux signaux Si'. Un dispositif de traitement d'antenne 5 forme un signal combiné des capteurs de l'autre portion de ligne, de façon connue en soi. Le dispositif de traitement d'antenne 5 génère ainsi les signaux combinés VGj associés aux signaux Gj'. Les signaux combinés visent, entre autres, à former des lobes de directivité de l'antenne utilisée en réception.

Chacune des sous-antennes linéaires présente un dispositif de traitement de signal traitant des signaux provenant du traitement d'antenne. Ce dispositif de traitement de signal fournit un ou plusieurs signaux

combinés utiles à la sortie de chaque sous-antenne linéaire.

Les dispositifs de traitement de signal 6 et 7 extraient le signal utile du bruit, de façon connue en soi. Les dispositifs 6 et 7 traitent ainsi respectivement les signaux combinés V_{Si} et V_{Gj} pour générer les signaux combinés utiles T_{Si} et T_{Gj} . Les dispositifs de traitement de signal 6 et 7 peuvent aussi être accouplés au dispositif d'émission de l'antenne non détaillé ici, afin d'effectuer un traitement tenant compte des signaux émis de façon connue en soi, comme la compression d'impulsion.

Le dispositif de calcul 8 calcule les coefficients de corrélation temporelle ou fréquentielle (selon que les traitements ont été effectués dans le domaine temporel ou fréquentiel) entre les signaux combinés utiles T_{Si} de la première portion de ligne et les signaux combinés utiles T_{Gj} de la deuxième portion de ligne. On forme ainsi la matrice $[C_{ij}]$ des coefficients de corrélation. Des détails concernant le calcul de ces coefficients sont donnés par la suite. Le dispositif de calcul 8 exploite également les coefficients de corrélation $[C_{ij}]$ afin de détecter une cible et générer un signal de détection. Un fonctionnement possible est le suivant : un dispositif de détection (inclus dans le dispositif de calcul 8 dans l'exemple) compare chaque coefficient de corrélation à un seuil respectif prédéfini. Lorsqu'un coefficient de corrélation donné est en dessous de son seuil prédéfini, on considère qu'aucune source ou cible ne se trouve à l'intersection des deux lobes de directivité V_{Si} et V_{Gj} , dans le site i et le gisement j . Lorsqu'un coefficient de corrélation dépasse son seuil prédéfini, on considère au

contraire qu'une source ou cible se trouve à l'intersection des deux lobes de directivité, dans le site i et le gisement j . Un signal de détection associé au résultat de la comparaison peut ainsi être généré sous
5 forme de valeur binaire. L'ensemble des signaux peut alors être agencé dans une matrice $[R_{ij}]$. Le seuil est défini en fonction des performances souhaitées de l'antenne et du dispositif de traitement de données associé (incluant le traitement d'antenne, le traitement
10 de signal et le traitement d'information), en terme de probabilité de détection et de fausse alarme.

Dans le cas des traitements d'antennes connus par l'homme de métier, l'antenne de la figure 1 étant du type émission/réception, le diagramme de directivité à
15 l'émission de l'antenne est celui d'un lobe en forme de croix et par réciprocité le diagramme de directivité à la réception est le même qu'à l'émission. Avec la structure d'antenne présentée, l'association des traitements d'antenne et de signal permet d'obtenir les mêmes
20 informations que celles obtenues par une antenne surfacique, par exemple plane, dont le lobe de directivité en réception serait aussi fin que le centre de la croix formée par le lobe de directivité. De plus, toujours dans le cas des traitements d'antennes connus
25 par l'homme de métier, si l'antenne de la figure 1 n'effectue pas de traitement de corrélation entre les signaux provenant des sous-antennes linéaires, les performances de détection sont celles des sous-antennes seules. Ces performances sont nettement inférieures à
30 celles obtenues par l'antenne de l'invention.

Le dispositif de traitement 9 peut effectuer des étapes supplémentaires de traitement d'information, pour améliorer par exemple les performances de probabilité de fausse alarme ou pour déterminer la vitesse, la distance
5 ou l'image d'une cible ou toutes autres informations utiles. Le dispositif de traitement 9 vise ainsi à rendre les informations exploitables par un opérateur ou un dispositif de traitement. Ce dispositif 9 reçoit en entrée des données telles que la matrice $[C_{ij}]$, la
10 matrice $[R_{ij}]$ ou toutes données similaires. L'ensemble des informations déterminées peut être restitué aux utilisateurs par un dispositif d'affichage 10 adéquat, connu en soi. Le dispositif d'affichage peut notamment afficher le temps avant collision, effectuer une fusion
15 entre l'image de la cible et une autre information générée (par exemple la distance et ou la vitesse de la cible), sélectionner de façon hiérarchique les cibles et les présenter de façon sélective sur un écran.

20 On peut prévoir différentes limitations concernant la forme des portions de lignes. On peut notamment envisager qu'au moins une portion de ligne présente une forme courbe. On peut prévoir qu'une telle courbe ne présente pas de point d'inflexion. On peut aussi
25 envisager que la variation de courbure soit limitée.

On peut ainsi limiter la courbure à proximité du milieu de la portion de ligne. On définit L la longueur de la portion de ligne et d la distance curviligne entre un point et le milieu de la portion de ligne. Pour tout
30 point tel que $d/L < 0,1$, on peut prévoir que l'angle entre un vecteur directeur de la tangente en ce point et un

vecteur directeur de la tangente au milieu ne soit pas inclus dans la plage $[45^{\circ}; 135^{\circ}]$.

On peut prévoir qu'une portion de ligne soit conforme, c'est-à-dire qu'elle ait une forme épousant la forme non rectiligne de son support, et qu'un traitement des signaux des modules rend cette portion de ligne équivalente à une portion de ligne rectiligne. On peut notamment appliquer un tel traitement à une portion de ligne fixée à la surface de la carlingue, d'une aile ou d'un empennage d'un avion. Le traitement des antennes conformes est une technique connue par l'homme de métier.

Les deux portions de ligne peuvent être séparées d'une distance quelconque à condition que la cible ou la source soit dans le champ lointain des deux sous antennes qui est défini par l'homme de l'art pour chaque sous-antenne comme le rapport du carré de la longueur rectiligne de l'antenne par la longueur d'onde la plus basse utilisée par l'antenne.

Les deux portions de lignes peuvent être disposées à une distance les séparant suffisante pour qu'un couplage entre leurs capteurs soit faible. Mais les deux portions de ligne peuvent être sécantes, il peut y avoir ;

-soit un capteur commun aux deux portions de lignes : cela implique que le coefficient de corrélation pour ce capteur se réduit à son coefficient d'auto-corrélation;

-soit un trou dans une des deux portions de ligne : ce cas correspond à des antennes lacunaires connues en soi par l'homme de métier.

Bien qu'on ait illustré uniquement ces types d'antennes dans les différentes figures, on peut également envisager d'appliquer l'invention à une antenne

présentant une matrice de capteurs, par exemple de forme rectangulaire. On fractionne alors la matrice en portions de sous-antennes telles que définies auparavant. On peut notamment délimiter plusieurs lignes et colonnes et
5 calculer des coefficients de corrélation pour plusieurs couples de ligne-colonne. On peut également envisager plus de deux portions de sous-antennes présentant des orientations telles que définies auparavant et ne formant pas une matrice et calculer des coefficients de
10 corrélation pour plusieurs couples de ces portions de sous-antennes. Les calculs des coefficients de corrélation pour différents couples peuvent être croisés pour améliorer les performances de l'antenne.

15 Dans une application de l'antenne à un radar, on utilise une antenne en réception et les capteurs des modules sont adaptés pour une capture de signaux radars. Le dispositif de traitement formant le signal combiné réalise notamment une fonction de formation de faisceaux.

20

Pour réaliser le calcul du coefficient de corrélation temporelle de signaux vidéo complexes (par exemple TS_i et TG_j dans l'exemple de la figure 1), particulièrement adaptée à une application radar, on peut
25 calculer les coefficients de $[C_{ij}]$ de la façon suivante:

Soient $X(t)$ et $Y(t)$ des signaux aléatoires complexes, non périodiques, centrés et stationnaires du deuxième ordre. On définit la fonction de corrélation des deux signaux comme l'espérance mathématique du produit de
30 $X(t)$ par le complexe conjugué de $Y(t-\tau)$, τ étant le décalage temporel entre les deux signaux.

$$\text{corrélation}_{XY}(\tau) = E[X(t)Y^*(t-\tau)] = \int_{\Omega} X(t, \omega) Y^*(t-\tau, \omega) dP(\omega)$$

Dans le cas de signaux ergodiques, la fonction de
5 corrélation vérifie l'égalité suivante:

$$\text{corrélation}_{XY}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} X(t) Y^*(t-\tau) dt$$

Dans la pratique l'intégrale se calcule sur un
intervalle de temps fini qui correspond à la durée
10 d'intégration.

L'homme de métier saura adapter les formules aux cas
des signaux périodiques, non centrés ou ne vérifiant pas
toutes les propriétés statistiques citées auparavant.

On définit la fonction de corrélation normée entre
15 les des deux signaux :

$$C_{XY}(\tau) = \frac{\text{corrélation}_{XY}(\tau)}{\sqrt{\text{corrélation}_{XX}(0)} \sqrt{\text{corrélation}_{YY}(0)}}$$

L'utilisation de coefficients de corrélation normés
permet de réaliser une détection de cible sans se soucier
20 des différences de niveaux entre X et Y.

Du fait que la fonction de corrélation tend vers
zéro lorsque τ tend vers l'infini, on considère dans la
pratique que le décalage temporel τ est borné. Par
25 exemple, si τ est compris dans l'intervalle de temps $[-\tau_{\max}, \tau_{\max}]$, alors il existe une valeur τ_0 de τ pour
laquelle la fonction de corrélation normée atteint son

maximum C_{XY} , coefficient de corrélation maximum entre les deux sous-antennes linéaires.

$$C_{XY} = |C_{XY}(\tau = \tau_0)| = \max_{\{-\tau_{\max}, \tau_{\max}\}} [|C_{XY}(\tau)|]$$

5 Le décalage temporel τ_0 est déterminé par la géométrie de l'antenne. Dans le cas de deux sous-antennes linéaires identiques sécantes en leur centre, la maximum C_{XY} est atteint pour $\tau_0=0$.

10 Les coefficients de corrélation maximum C_{ij} sont obtenus en remplaçant les signaux aléatoires $X(t)$ et $Y(t)$ par les signaux combinés utiles tels que définis auparavant TS_i et TG_j . Les coefficients de corrélation C_{ij} forment donc une matrice $[C_{ij}]$, dont les valeurs sont comprises entre 0 et 1.

15

20 Une valeur de coefficient de corrélation maximum C_{ij} supérieure à un seuil de corrélation prédéfini implique qu'au moins une source ou une cible est détectée à l'intersection virtuelle des lobes de directivités des deux sous-antennes linéaires $2i$ et $3j$. Dans le cas de la figure 1, on détermine la présence d'une source ou cible à l'intersection du site i et du gisement j .

25 Une autre méthode de calcul, basée sur l'exploitation de signaux combinés réels, permet de simplifier l'étape de calcul. Les coefficients de corrélation sont alors déterminés, en considérant la fonction de corrélation de la façon suivante:

$$\text{corrélation}_{X,Y}(\tau) = \frac{1}{2} \left(E \left[|X(t) + Y(t-\tau)|^2 \right] - E \left[|X(t)|^2 \right] - E \left[|Y(t)|^2 \right] \right)$$

Ou encore

$$\text{corrélation}_{X,Y}(\tau) = \frac{1}{4} \left(E \left[|X(t) + Y(t-\tau)|^2 \right] - E \left[|X(t) - Y(t-\tau)|^2 \right] \right)$$

5 Cette méthode permet d'obtenir les coefficients de
corrélation directement à partir des puissances des
signaux en effectuant simplement des sommations ou des
soustractions.

10 Par ailleurs, on peut envisager d'exclure des
signaux trop faibles de la détection. Ainsi, on peut au
préalable calculer le dénominateur de la fonction de
corrélation normée mentionné ci-dessus, et le comparer à
un seuil minimal. Lorsque le dénominateur de la fonction
de corrélation normée est inférieur au seuil minimal, le
15 coefficient de corrélation correspondant n'est pas pris
en compte pour la détection, ce qui revient à lui donner
une valeur nulle. On peut ainsi réduire de façon
importante la durée d'intégration nécessaire pour des
performances similaires. En variante, on peut également
20 comparer chaque seuil du dénominateur à un seuil
respectif.

 Pour garantir un résultat optimal, il est
souhaitable que l'acquisition des signaux utilisés pour
25 le calcul de corrélation soit synchrone.

 Bien qu'on ait décrit une solution de calcul de
corrélation dans le domaine temporel, on peut également

envisager d'effectuer les calculs des coefficients de
 corrélation dans le domaine fréquentiel, par exemple pour
 une application de l'antenne à un sonar. Les coefficients
 de corrélation dans le domaine fréquentiel peuvent être
 5 déterminés à partir de la fonction de cohérence définie
 de la façon suivante.

Les transformées de Fourier des fonctions de
 corrélation de deux signaux X et Y précédemment définies
 sont les densités inter-spectrales (ou encore densité
 10 spectrale d'interaction).

$$\text{Transformée de Fourier (corrélation}_{XY}) (f) = S_{XY} (f)$$

De même, les transformées de Fourier des fonctions
 15 de corrélation des signaux X et Y précédemment définies
 sont les densités spectrales de puissance des signaux X
 et Y .

$$\text{Transformée de Fourier (corrélation}_{XX}) (f) = S_{XX} (f)$$

$$20 \quad \text{Transformée de Fourier (corrélation}_{YY}) (f) = S_{YY} (f)$$

La fonction de cohérence de entre X et Y est
 définie par

$$c_{XY}(f) = \text{cohérence}_{XY}(f) = \frac{S_{XY}(f)}{\sqrt{S_{XX}(f)} \sqrt{S_{YY}(f)}}$$

25 Le calcul des coefficients de cohérence se
 généralise pour toutes bandes de fréquences d'analyse B_f .
 Dans ce cas le calcul de la fonction de cohérence devient

$$c_{xy}(f) = \text{cohérence}_{xy}(B_f) = \frac{\int_{B_f} S_{xy}(f) df}{\sqrt{\int_{B_f} S_{xx}(f) df} \sqrt{\int_{B_f} S_{yy}(f) df}}$$

On peut prévoir que les dispositifs de traitement d'antenne 4 et 5 pondèrent les signaux de base des capteurs en fonction de différences de directivité ou de sensibilité, avant de réaliser la combinaison (par exemple linéaire) de ces signaux.

Les dispositifs de traitement d'antenne peuvent également comprendre un traitement adaptatif qui a pour fonction d'éliminer un signal parasite, comme celui provenant d'un brouilleur ou tout autre traitement qui permettent d'améliorer les fonctionnalités et les performances de l'antenne et du traitement de données associé.

Les dispositifs de traitement de signal 6 et 7 des signaux combinés peuvent réaliser: des filtrages passe-bande, des filtrages Doppler ou MTI, des traitements de compression d'impulsion ou des mesures d'écartométrie ou tout autre traitement qui permettent d'améliorer les fonctionnalités et les performances de l'antenne et du traitement de données associé.

Bien que cela n'ait pas été représenté, l'antenne peut inclure des étages de traitement de données adéquats, fournissant des informations appropriées aux opérateurs. De façon générale, le calcul des coefficients de corrélation sera effectué de préférence après une étape de traitement d'antenne et une étape de traitement du signal. Le calcul des coefficients de corrélation sera généralement suivi d'une étape de seuillage et de traitement d'information.

Les étages de traitement d'information, correspondant aux dispositifs 8 à 10 sur la figure 1, ont par exemple pour fonction de détecter, localiser ou afficher la présence d'une source ou d'une cible.

5 Dans le cas des signaux discrets, le calcul des coefficients de corrélation peut être effectué sur un nombre N d'échantillons des signaux combinés utiles. L'homme de métier déterminera le nombre d'échantillons nécessaire en fonction des probabilités souhaitées de
10 détection et de fausse alarme.

Par exemple dans le domaine temporel, on considère N échantillons temporels des signaux complexes X et Y et on fait l'hypothèse que le maximum C_{XY} est atteint pour $\tau_0=0$.

15

$$C_{XY} = \frac{\left| \sum_{t=1}^N X(t) \cdot Y^*(t) \right|}{\sqrt{\sum_{t=1}^N |X(t)|^2} \cdot \sqrt{\sum_{t=1}^N |Y(t)|^2}}$$

Si on élimine les signaux trop faibles en faisant un test sur le dénominateur comme cela a été décrit précédemment, alors on arrive à réduire de façon
20 importante le nombre d'échantillons N nécessaires pour des performances similaires en probabilité de fausse alarme et de détection.

Pour détecter un câble métallique d'un diamètre de 1
25 cm à une distance de 1000 mètres depuis un aéronef, les règles de dimensionnement suivantes de l'antenne peuvent être utilisées :

- On prend comme hypothèse que la surface équivalente radar SER du câble de 1cm de rayon à 1000 m de distance est de l'ordre de grandeur du m^2 .
- 5 • On veut obtenir un angle $2\theta^3$ d'ouverture du lobe principal à 3dB égal à 1° , avec une réjection des lobes secondaires de l'ordre de 30dB.
- On prend la formule $2\theta^3 = 60^\circ \lambda / h$ où h est la dimension verticale de l'antenne.
- 10 • On en déduit $h = 60\lambda$ soit une hauteur de 60 cm (les sous-antennes sont orientées respectivement suivant une verticale et une horizontale de l'aéronef). Si l'antenne est échantillonnée spatialement à $\lambda/2$, l'antenne doit être constituée de 120 capteurs environ.
- 15 • On suppose qu'on n'utilise que la sous-antenne horizontale à l'émission pour minimiser l'effet du fouillis de sol. On balaye donc en gisement.
- A l'émission seul un secteur de 32° en site doit être surveillé, il faut tenir compte de plus de 5 dB de gain à l'émission.
- 20 • On suppose qu'on surveille 32° de gisement, soit 32 positions de faisceau de 1° .
- Chaque faisceau est donc illuminé pendant : 1250 μs .
- Avec la même récurrence radar : $T_r = 14 \mu s$, le nombre d'impulsions intégrées est maintenant égal à 90.
- 25 • La sous-antenne horizontale de 120 émetteurs de 1W chacun émet donc une puissance de 120 Watts.

30 Des études et des essais comparatifs ont été réalisés. L'antenne selon l'invention présente deux portions de ligne droites perpendiculaires composées chacune de 120 modules, soit au total 240 modules. L'antenne présente une fréquence d'émission de 35 GHz et

35 chaque sous-antenne est de forme sensiblement rectangulaire. Chaque sous-antenne présente une longueur de 50 cm et une largeur de 3 cm . Les sous-antennes ont été disposées sur un aéronef pour former un V renversé (la base du V étant orientée vers le haut de l'aéronef)

40 pour minimiser les effets de fouillis. L'antenne permet

de détecter un câble de S.E.R (Surface Equivalent Radar) de l'ordre -30 dB à une distance de plusieurs centaines de mètres pour une détection non spéculaire du câble. Les tests ont été réalisés avec des capteurs émissifs de puissance moyenne de 1 Watt à l'émission et pour un taux de fausse alarme meilleur qu'une fausse alarme par heure de vol. La résolution angulaire d'une telle antenne est d'environ 1% en site et en gisement. L'antenne de l'invention présente une résolution suffisante pour identifier les câbles et les pylônes à haute tension comme le montrent respectivement les diagrammes des figures 2 et 3 provenant de simulations.

Le procédé de test du dénominateur du coefficient de corrélation a permis en pratique d'augmenter de 30% la distance de détection d'un câble par rapport à une antenne de référence.

L'inclinaison des sous-antennes linéaires, par exemple à 45° par rapport à leur axe initial vertical (respectivement horizontal) permet également de réduire l'influence du fouillis de sol sur la détection et les fausses alarmes.

5

REVENDEICATIONS

1. Antenne (1) caractérisée en ce qu'elle comprend :
- une première (2) et une deuxième (3) sous-antennes linéaires :
 - présentant chacune une pluralité de capteurs électromagnétiques (21-2M, 31-3N) agencés pour former respectivement des première et deuxième portions de lignes, chaque capteur générant un signal de base (S_i' , G_j');
 - l'angle entre des vecteurs directeurs respectifs des première et deuxième tangentes au milieu respectivement des première et deuxième portions de ligne étant compris entre 30° et 150° ;
 - un dispositif d'émission d'un signal électromagnétique à une fréquence au moins égale à 10 GHz ;
 - un dispositif de traitement d'antenne (4, 5) formant plusieurs signaux combinés (V_{Si} , V_{Gj}) pour chaque portion de ligne, ce signal étant une combinaison des signaux de base des capteurs de cette portion de ligne;
 - un dispositif de traitement (6,7) de signal générant des signaux combinés utiles (T_{Si} , T_{Gj}) en filtrant le bruit des signaux combinés provenant de chaque portion de ligne ;
 - un dispositif de calcul (8) des coefficients de corrélation ($[C_{ij}]$) entre les signaux combinés utiles de la première portion de ligne et les signaux combinés utiles de la deuxième portion de ligne ;

-un dispositif (8) générant un signal de détection ([Rij]) lorsqu'un coefficient de corrélation dépasse un seuil prédéterminé.

5 2. Antenne selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un dispositif de détection de cible, comparant chaque coefficient de corrélation calculé à un seuil prédéfini associé, détectant et localisant une cible lorsqu'un coefficient de corrélation
10 dépasse le seuil associé.

3. Antenne selon la revendication 2, caractérisée en ce qu'elle comprend un dispositif de traitement (9) du signal de détection et des coefficients de corrélation
15 générant des informations concernant la cible détectée.

4. Antenne selon la revendication 3, caractérisée en ce que l'information générée comprend la distance, le site, le gisement, la vitesse et une image de la cible.
20

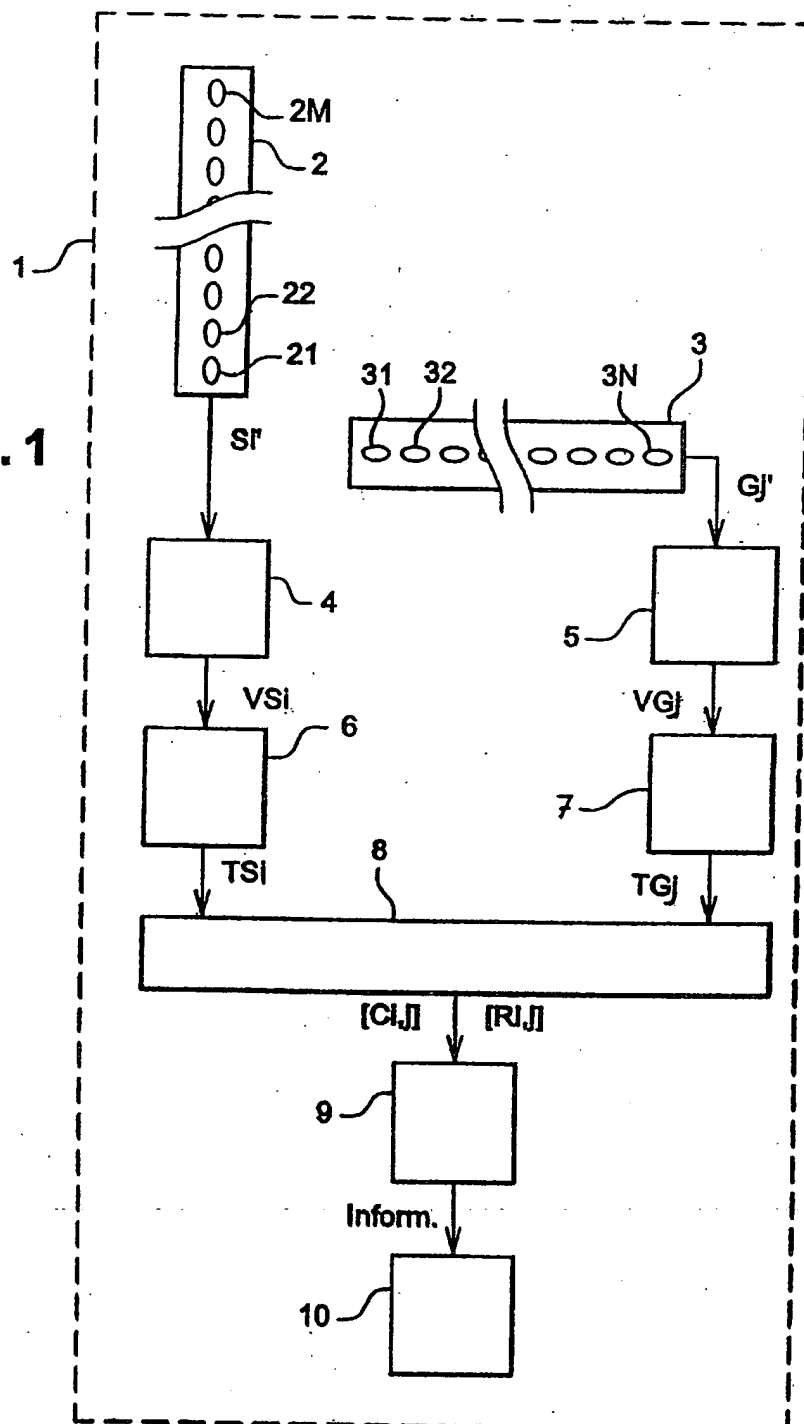
5. Antenne selon la revendication 3 ou 4, caractérisée en ce qu'elle comprend un dispositif (10) affichant les informations générées.

25 6. Antenne selon les revendications 4 et 5, caractérisée en ce que le dispositif (10) affiche l'image de la cible seulement si une autre information générée franchit un seuil prédéterminé.

30 7. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que:

- les capteurs sont émissifs;
 - le dispositif d'émission comprend un circuit d'excitation alimentant les capteurs des sous-antennes linéaires de sorte qu'ils émettent à une fréquence au moins égale à 10 GHz ;
 - le dispositif de traitement de données traitant les signaux combinés en fonction du signal émis par chaque capteur, ce traitement comprenant par exemple une compression d'impulsion.
- 10
8. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les première et deuxième portions de ligne présentent une longueur comprise entre 30 et 150 cm et une largeur comprise entre
- 15 1 et 10 cm.
9. Aéronef comprenant une antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les première et deuxième portions de ligne sont sensiblement droites et forment sensiblement un V dont la base est
- 20 orientée vers le haut de l'aéronef.
10. Aéronef selon la revendication 9, caractérisé en ce les vecteurs directeurs des première et deuxième portions
- 25 de ligne présentent un angle compris entre 40 et 50° par rapport à la verticale de l'aéronef.

1/2

Fig. 1

2/2

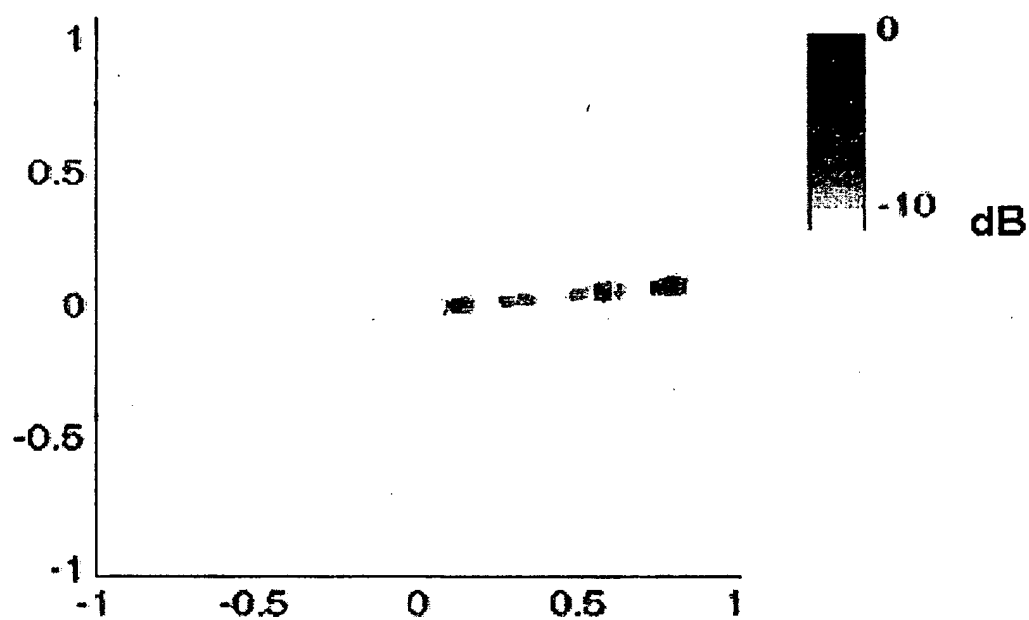


FIG 2

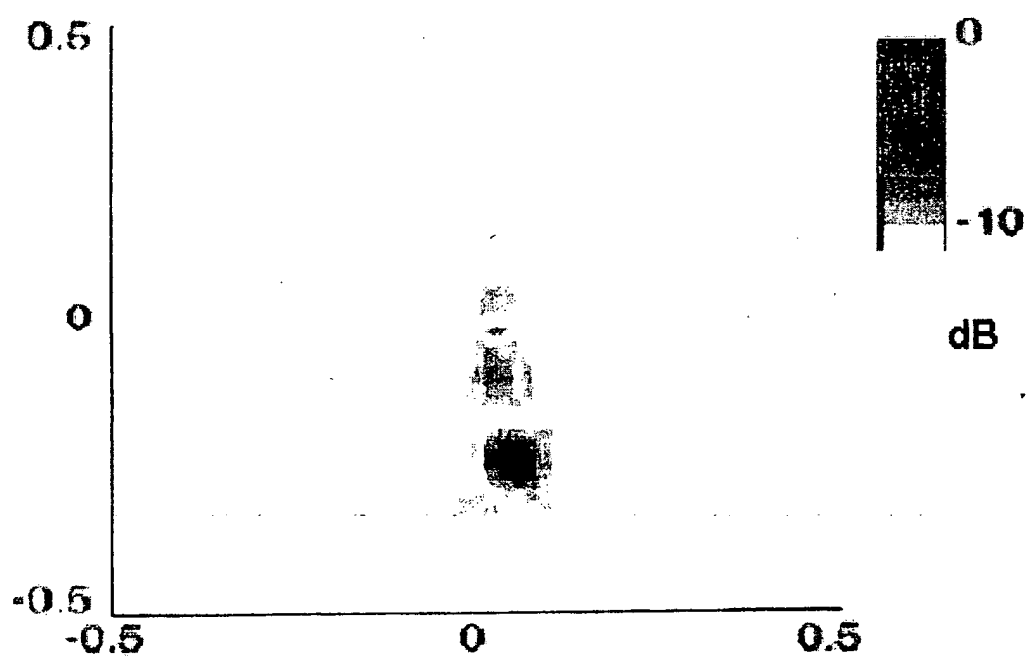


FIG 3



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 668887
FR 0504894

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 6 124 828 A (CHAMPEAU ET AL) 26 septembre 2000 (2000-09-26) * le document en entier *	1	H01Q21/24 H01Q1/28 G01S13/93
X	EP 0 158 690 A (GILLESPIE, ANTHONY RICHARD; HASLAM, CHRISTOPHER GLYN TREVOR; HASLAM, N) 23 octobre 1985 (1985-10-23) * le document en entier *	1	
A	US 3 683 374 A (PETER HONOLD) 8 août 1972 (1972-08-08) * le document en entier *	1-10	
A	US 5 828 334 A (DEEGAN ET AL) 27 octobre 1998 (1998-10-27) * le document en entier *	1-10	
A	US 2004/168358 A1 (STUMP GREG) 2 septembre 2004 (2004-09-02) * le document en entier *	1-10	
A	US 5 621 325 A (DRAPER ET AL) 15 avril 1997 (1997-04-15) * le document en entier *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H01Q G01V G01S G01K
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
1 décembre 2005		Wattiaux, V	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0504894 FA 668887**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 01-12-2005
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6124828	A	26-09-2000	CA 2241300 A1	08-01-1999
			DE 69812783 D1	08-05-2003
			DE 69812783 T2	12-02-2004
			EP 0891005 A1	13-01-1999
			FR 2766017 A1	15-01-1999

EP 0158690	A	23-10-1985	AUCUN	

US 3683374	A	08-08-1972	DE 1941268 A1	25-02-1971
			FR 2058245 A5	28-05-1971
			GB 1307624 A	21-02-1973
			NL 7011145 A	16-02-1971

US 5828334	A	27-10-1998	AUCUN	

US 2004168358	A1	02-09-2004	AUCUN	

US 5621325	A	15-04-1997	AU 5058996 A	21-11-1996
			DE 19616079 A1	21-11-1996
			GB 2300922 A	20-11-1996

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82